



Penyisihan Minyak Lemak Yang Terkandung Dalam Limbah Cair Industri Minyak Sawit Dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit

Adrianto Ahmad, Yelmida, Friska Irmawati P

Laboratorium Rekayasa Bioproses Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau
Jl. HR Subrantas Km. 12,5 Kampus Bina Widya Panam Pekanbaru 28293
email: adri@unri.ac.id

Abstract

The concentration of oil and fat wich contained in palm oil industrial liquid waste is 190-14720 mg / L, while the allowable standard is 25 mg / L. Palm oil industrial liquid waste can be treated with the anaerobic process and aerobic process. However, the anaerobic process is more lucrative than the aerobic process. Modification made in the anaerobic wastewater treatment is using a hybrid anaerobic bioreactor. Anaerobic hybrid bioreactor system is a combination between the suspended growth microorganisms and attached growth microorganisms with palm shell as a placard media. The purpose of this research is to determine the optimal provision of fat oil using a hybrid anaerobic bioreactor on palm oil industrial liquid waste. The study was conducted with several variations of HRT (Hydraulic Retention Time), is 1, 2, 3, 4, and 5 days. Each HRT operated in steady state. Parameters that observed were the amount of fat and oil allowance and also hydrolysis rate constant (kh). The results showed that the efficiency of fatty oils on HRT 1 day to 5 days increased, ie 56%, 69%, 71%, 96%, and 98%. At 1 day of HRT hydrolysis rate constant (kh) for fatty oils is 0.039 day⁻¹, on 2 days of HRT is 0.059 day⁻¹, on 3 days of HRT is 0.062 day⁻¹, on 4 days of HRT is 0.048 day⁻¹ and the 5 days of HRT is 0.236 day⁻¹. The results can be concluded that the 4 days of HRT given highest efficiency of oil removal with a high fat in a brief HRT, that is 96% with the value of fatty oils, k_h is 0.048 day⁻¹.

Keywords: Anaerobic; Hybrid bioreactor; Hydrolysis; Allowance fatty oils, Hydraulic Residence Time

Pendahuluan

Setiap ton minyak sawit yang dihasilkan akan mengeluarkan limbah cair sebanyak 2,5 m³ (Ahmad dkk, 2000). Pada limbah cair pabrik kelapa sawit banyak terdapat senyawa organik yang sulit untuk didegradasi secara alamiah, misalnya minyak lemak. Saat ini pencemaran lingkungan yang diakibatkan limbah cair pabrik kelapa sawit dikategorikan sebagai pencemar lingkungan yang sangat serius, karena karakteristik limbah cair tersebut mengandung minyak lemak yang cukup tinggi berkisar 190-14.720 mg/L (Ditjen PPHP, 2006). Sementara itu baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah RI melalui Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 tahun 1995 pada lampiran B adalah nilai minyak lemak sebesar 25 mg/L.

Limbah cair dengan karakteristik seperti disebutkan di atas bila langsung dibuang ke perairan akan meningkatkan kandungan minyak lemak sehingga merusak ekosistem lingkungan sekitarnya. Oleh karena itu, limbah cair industri minyak sawit ini perlu penanganan terlebih dahulu sebelum dibuang ke perairan karena dapat menurunkan kualitas air. Data ini menunjukkan

betapa beratnya beban yang ditanggung oleh lingkungan akibat pencemaran oleh limbah cair industri minyak sawit.

Penanganan yang sesuai untuk mengolah limbah cair industri minyak sawit adalah dengan proses anaerob. Proses anaerob merupakan proses yang kompleks dengan melibatkan berbagai kelompok bakteri. Keterlibatan antara kelompok ini saling menguntungkan satu sama lainnya karena tidak terjadi saling kompetisi antara kelompok dalam rangka pemanfaatan nutrien atau substrat. Masing-masing kelompok bakteri yang terlibat mempunyai substrat tertentu antara lain kelompok bakteri hidrolitik hanya memanfaatkan substrat berupa senyawa organik dengan molekul besar seperti karbohidrat, protein dan minyak-lemak, sedangkan kelompok bakteri asidogen hanya dapat memanfaatkan substrat yang lebih sederhana dengan molekul organik yang dihasilkan dari penguraian kelompok bakteri hidrolitik (misal glukosa, asam amino dan asam lemak bebas) (Ahmad, 2001).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan penyisihan optimal dan konstanta laju reaksi hidrolisis minyak lemak pada bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit

Landasan Teori

Kandungan minyak lemak pada limbah cair industri minyak sawit menunjukkan bahwa limbah cair industri minyak sawit mengandung bahan-bahan organik yang tinggi jika dibuang ke badan air penerima akan mengakibatkan penurunan kualitas perairan dan lingkungan. Dampak yang terjadi antara lain terjadinya pembusukan pada badan air penerima dan buih yang dihasilkan oleh limbah cair tersebut pada selang waktu tertentu akan mengeras sehingga menutupi permukaan badan air penerima. Akibatnya akan menghambat kontak antara air dengan udara bebas sekitarnya. Terhambatnya kontak antara air dengan udara bebas akan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air, akhirnya akan mempengaruhi terhadap kehidupan biota yang ada di dalam badan air penerima tersebut (Ahmad, 1992).

Upaya pencegahan terjadinya pencemaran air dan lingkungan oleh limbah cair industri minyak sawit yakni dengan melakukan pengolahan air buangan tersebut. Penanganan yang sesuai untuk mengolah limbah cair industri minyak sawit adalah dengan proses anaerob (Ahmad dan Setiadi, 1993). Proses anaerob merupakan proses degradasi senyawa organik seperti karbohidrat, protein dan lemak yang terdapat dalam limbah cair oleh bakteri anaerob tanpa kehadiran oksigen menjadi biogas yang terdiri dari CH_4 (50-70%) dan CO_2 (25-45%), serta N_2 , H_2 , H_2S dalam jumlah kecil (Ahmad, 2009).

Salah satu pengolahan anaerob dapat dilakukan dengan menggunakan bioreaktor hibrid anaerob. Pengolahan anaerob dapat dilakukan dengan menggunakan bioreaktor hibrid anaerob. Bioreaktor hibrid anaerob merupakan penggabungan antara sistem pertumbuhan mikroorganisme tersuspensi dan pertumbuhan melekat. Pada sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*), mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi di dalam fasa cair. Sedangkan di dalam sistem pertumbuhan melekat (*attached growth*), mikroorganisme tumbuh dan berkembang melekat di atas media pendukung dengan membentuk lapisan *biofilm* (Ahmad, 2009). Media pendukung yang digunakan adalah cangkang sawit, karena cangkang sawit mudah didapat, memiliki permukaan yang kasar dan kuat.

Hidrolisis senyawa minyak-lemak secara anaerob melalui beberapa tahap yakni tahap pembentukan asam (terdiri dari proses hidrolisis, proses asidogenesis, proses asetogenesis) dan tahap pembentuk metan (proses metanogenesis). Tahap pembentuk asam merupakan tahap biodegradasi senyawa minyak-lemak menjadi asam lemak volatil seperti asam asetat, asam propionat dan gas berupa CO_2 dan H_2 . Selanjutnya, tahap pembentuk metan merupakan tahap perubahan (konversi) asam asetat menjadi gas metan serta CO_2 dan H_2 menjadi gas metan.

Proses biodegradasi senyawa minyak-lemak secara anaerob menghasilkan berbagai produk antara (*intermediate product*) dengan jalur reaksi yang berbeda. Jalur reaksi pertama yakni reaksi pelarutan senyawa minyak-lemak menjadi senyawa sederhana berupa asam lemak bebas dan gliserol oleh. Selanjutnya, asam lemak bebas dan gliserol ini melalui berbagai jalur reaksi dapat berubah menjadi asam asetat, asam propionat, CO_2 dan H_2 . Jalur reaksi berikutnya adalah perubahan asam propionat menjadi asam asetat. Jalur reaksi terakhir adalah penguraian asam asetat menjadi gas metan serta CO_2 dan H_2 menjadi gas metan (Ahmad, 2001).

Untuk menentukan kinetika hidrolisis terlebih dahulu harus diketahui orde reaksi hidrolisis karbohidrat pada bakteri anaerob. Untuk menentukan orde reaksi yang sesuai dengan proses hidrolisis tersebut dapat ditinjau dari hubungan antara laju reaksi dengan konsentrasi substrat yang dinyatakan dengan persamaan (Ahmad, 2001):

$$dC/dt = k C^n \quad (1)$$

Persamaan 1 dapat diubah menjadi,

$$dC/C^n = k dt \quad (2)$$

dengan asumsi bahwa reaksi hidrolisis memenuhi persamaan orde satu maka $n = 1$, persamaan 2 berubah menjadi,

$$dC/C = k dt \quad (3)$$

dan bila diintegrasikan diperoleh:

$$\ln C_0/C = kt \quad (4)$$

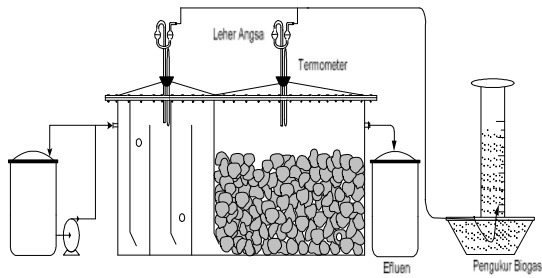
Kecocokan model tersebut ditentukan oleh besarnya kesalahan relatif antara data percobaan dan hasil perhitungan model. Kesalahan relatif antara data percobaan dengan data hasil perhitungan model kinetik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dari Dinopoulou dkk (1990) yaitu:

$$RE = \frac{\sum_{i=1}^n [(R_{s,T} - R_{SM,T}) / R_{s,T}]}{N} \times 100 \% \quad (5)$$

Metodologi

Limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit merupakan limbah cair yang berupa *palm oil mill effluent* (POME) yang berasal dari air kondensat pada proses sterilisasi sebesar 15-20%, air dari proses klarifikasi & sentrifugasi sebesar 40-50%, dan air dari proses *hydrocyclone* (*claybath*) sebesar 9-11% (Anonim, 2008). Limbah cair ini dikumpulkan dalam suatu tangki penampung dan kemudian dialirkan ke instalasi pengolahan limbah cair.

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu bioreaktor hibrid anaerob dengan volume 11.340 mL. Bioreaktor hibrid anaerob yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Bioreaktor Hibrid Anaerob

Start-up Bioreaktor Hibrid Anaerob

Selama proses *start-up* umpan (limbah cair) dialirkan dengan laju alir 2,26 L/hari ke dalam bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit, kemudian diresirkulasi. Resirkulasi bertujuan untuk menaikkan dan menahan pertumbuhan *biofilm*. Analisa karbohidrat dilakukan pada saat keadaan tunak (*steady state*) tercapai, yaitu fluktuasi COD 10 % dan proses ini berlangsung selama 42 hari.

Proses Operasional Bioreaktor Hibrid Anaerob

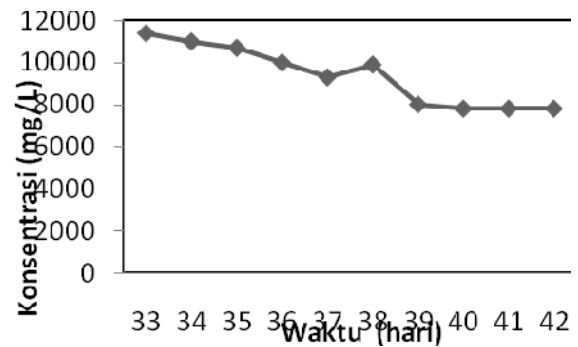
Setelah proses *start-up* dianggap selesai, dilanjutkan dengan pengoperasian bioreaktor dengan memvariasikan waktu tinggal hidrolis, yaitu 1 hari, 2 hari, 3 hari, 4 hari dan 5 hari. Tujuan dari peningkatan waktu tinggal hidrolis adalah untuk mengetahui kinerja optimal bioreaktor dalam menyisihkan minyak lemak. Parameter yang diamati adalah besarnya penyisihan dan konstanta laju hidrolisis minyak lemak. Metoda analisa minyak lemak dilakukan dengan sokletasi.

Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan yang diuraikan dibawah ini meliputi, pengamatan selama proses *start-up*, keadaan transien dan setelah kondisi tunak tercapai, menentukan orde reaksi dan menghitung nilai konstanta laju hidrolisis (k_h) pada proses operasional bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit.

Perubahan Konsentrasi Minyak Lemak Selama Waktu Start-up Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit

Hubungan antara waktu *start-up* terhadap perubahan konsentrasi Minyak Lemak pada bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit ditampilkan pada Gambar 1 berikut.



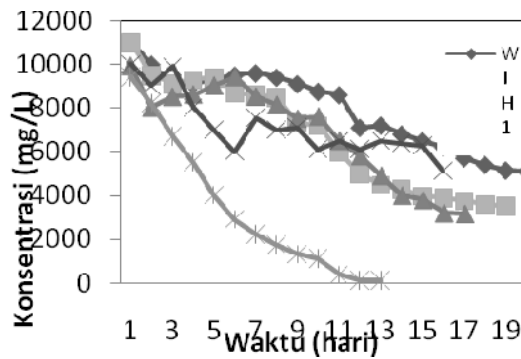
Gambar 1. Hubungan Waktu Terhadap Konsentrasi Minyak Lemak Pada Tahap *Start-up* Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit

Gambar 1 menunjukkan bahwa fluktuasi konsentrasi minyak lemak mulai hari ke-37 hingga ke-42 relatif konstan. Keadaan ini menunjukkan bahwa kondisi tunak sudah tercapai. Menurut Sandra, dkk (1987) selama masa *start-up* maka bioreaktor anaerob tetap dalam keadaan non tunak (*non steady state*) sampai bakteri mampu membentuk flok dan *biofilm* berkembang secara penuh.

Pada proses *start-up* terjadi penurunan konsentrasi minyak lemak dari 12000 mg/L hingga 7800 mg/L. Penurunan ini menunjukkan bahwa bakteri telah mampu berkembang-biak dengan baik sehingga bakteri tersebut mampu membentuk flok dan membentuk lapisan *biofilm* pada media imobilisasi sel (cangkang sawit) dan diikuti dengan degradasi senyawa-senyawa organik kompleks yang menghasilkan gas metan dan CO_2 . Dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa konsentasi minyak lemak pada keadaan tunak sebesar 7800 mg/L.

Konsentrasi Minyak Lemak pada periode Transien

Perubahan konsentrasi minyak lemak selama berlangsung proses kontinu dengan berbagai waktu tinggal hidrolis (WTH) pada bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Waktu Terhadap Konsentrasi Minyak Lemak Pada Tahap *Start-up* Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit

Gambar 2 menunjukkan bahwa konsentrasi minyak lemak keluaran bioreaktor secara umum mempunyai kecenderungan menurun pada setiap peningkatan waktu tinggal hidrolis (WTH). Pada WTH 1 hari menunjukkan bahwa konsentrasi minyak lemak keluaran bioreaktor menurun dari 11.000 mg/L hingga terendah 5.093 mg/L. Pada WTH 2 hari diperoleh konsentrasi minyak lemak keluaran bioreaktor berkisar dari 11.000 mg/L hingga terendah 3.510 mg/L. Pada WTH 3 hari diperoleh konsentrasi minyak lemak keluaran bioreaktor berkisar dari 9.900 mg/L hingga terendah 3.160 mg/L. Pada WTH 4 hari diperoleh konsentrasi minyak lemak keluaran bioreaktor berkisar dari 10.000 mg/L hingga terendah 5.120 mg/L. Sementara itu, pada WTH 5 hari diperoleh konsentrasi minyak lemak keluaran bioreaktor berkisar dari 9.400 mg/L hingga terendah 110 mg/L.

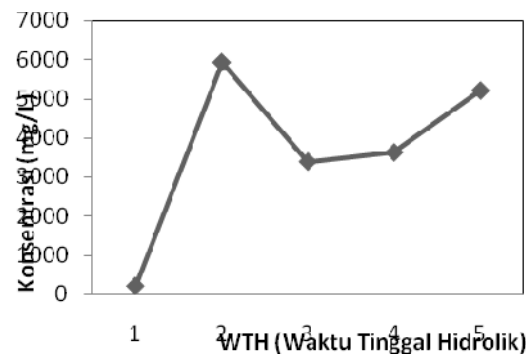
Hasil penelitian menunjukkan bahwa hidrolisis senyawa minyak lemak yang terdapat di dalam bioreaktor hibrid anaerob semakin tinggi seiring dengan meningkatnya waktu tinggal hidrolis bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit sehingga konsentrasi minyak lemak keluaran bioreaktor mengalami penurunan (Ahmad dkk, 2001).

Pavlostathis dan Giraldo-Gomez (1911) menyatakan bahwa degradasi lipid pada kondisi anaerob berlangsung melalui degradasi awal lemak oleh enzim lipase menjadi asam lemak rantai panjang dan sedikit gliserol. Menurut Breure dan Van andel (1989), proses hidrolisis minyak lemak merupakan proses penguraian minyak lemak menjadi asam lemak bebas berupa asam stearat, asam palmitat dan lain-lain. Melnerney (1988) melaporkan bahwa *Clostridium perfringens* berperan dalam biodegradasi lipid. Penurunan konsentrasi minyak lemak keluaran bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit, menandakan bahwa bakteri yang terdapat di dalam bioraktor telah mampu mendegradasi zat-zat

organik yang ada pada limbah cair industri minyak sawit (Widjaja dkk, 2008).

Pengaruh WTH terhadap penyisihan minyak lemak

Perubahan konsentrasi minyak lemak keluaran bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit pada keadaan tunak dengan variasi WTH 1 hari, 2 hari, 3 hari, 4 hari dan 5 hari dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Waktu Tinggal Hidrolis Terhadap Penyisihan Minyak Lemak Pada Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit

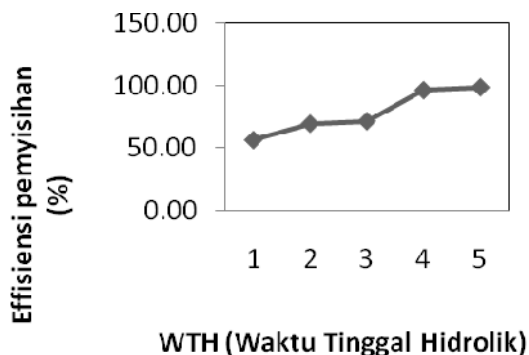
Gambar 3 menunjukkan bahwa penyisihan minyak lemak secara umum mempunyai kecenderungan meningkat dengan meningkatnya waktu tinggal hidrolis (WTH). Pada WTH 1 hari menunjukkan bahwa penyisihan minyak lemak sebesar 5.791,33 mg/L, pada WTH 2 hari menunjukkan bahwa penyisihan minyak lemak yang diperoleh sebesar 7.376,67 mg/L dan pada WTH 3 hari menunjukkan bahwa penyisihan minyak lemak sebesar 6.513,33 mg/L. Sementara itu, pada WTH 4 hari menunjukkan bahwa penyisihan minyak lemak sebesar 4.070 mg/L, pada WTH 5 hari menunjukkan bahwa penyisihan minyak lemak sebesar 9.200 mg/L.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa penyisihan minyak lemak terbesar adalah pada WTH 5 hari karena bakteri pendegradasi limbah cair dapat bekerja secara optimal pada tahap ini. Hal ini disebabkan karena waktu tinggal hidrolis (WTH) yang cukup lama, sehingga memberi kesempatan kontak lebih lama antara bakteri dengan limbah cair, sehingga proses degradasi menjadi lebih baik dibandingkan dengan WTH lainnya yang penyisihan minyak lemaknya lebih kecil (Nugraihini, 2008).

Ahmad dkk. (2000) telah melakukan penelitian dalam pengolahan limbah cair sintetik (campuran karbohidrat, protein dan minyak lemak) dengan menggunakan *digester* anaerob dan sistem ini mampu menyisihkan minyak lemak 3.097 mg/L dengan waktu tinggal hidrolis selama 7 hari. Pada penelitian ini dapat dilihat bahwa kinerja bioreaktor hibrid

anaerob bimedia cangkang sawit lebih optimal dalam menyisihkan minyak lemak yang terkandung dalam limbah cair industri minyak sawit, yaitu 9.200 mg/L dengan waktu hidrolisis selama 5 hari. Hal ini dikarenakan bioreaktor hibrid anaerob bimedia cangkang sawit mampu mempertahankan biomassa di dalam bioreaktor sehingga konsentrasi minyak lemak efluen bioreaktor yang terbawa aliran menjadi rendah.

Pengaruh waktu tinggal hidrolis terhadap efisiensi penyisihan minyak lemak ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh Waktu Tinggal Hidrolik Terhadap Efisiensi Penyisihan Minyak Lemak

Gambar 4 menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan minyak lemak secara umum mempunyai kecenderungan meningkat dengan meningkatnya waktu tinggal hidrolis. Pada WTH 1 hari menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan minyak lemak sebesar 56,23%, pada WTH 2 hari menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan minyak lemak sebesar 69,27%, pada WTH 3 hari menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan minyak lemak sebesar 71,28%. Sementara itu, pada WTH 4 hari menunjukkan bahwa penyisihan minyak lemak sebesar 96,05%, pada WTH 5 hari menunjukkan bahwa penyisihan minyak lemak sebesar 98,34 %.

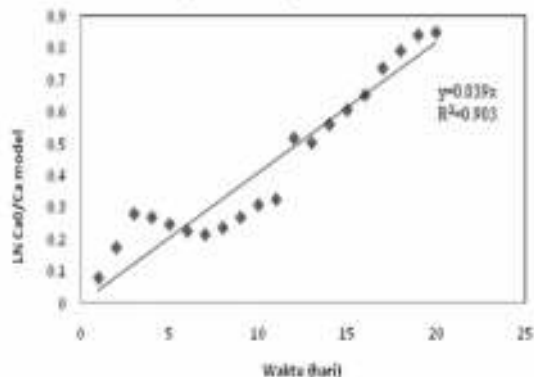
Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan minyak lemak terbesar adalah pada WTH 5 hari. Hal ini membuktikan bahwa semakin lama waktu tinggal cairan maka mikroorganisme memiliki waktu yang lebih lama untuk mendegradasi senyawa organik yang terkandung di dalam limbah cair yang diolah, sedangkan pada waktu tinggal hidrolis yang rendah, mikroorganisme tidak mendapatkan waktu yang cukup untuk mencerna senyawa organik yang merupakan nutrisi bagi mikroorganisme tersebut.

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan minyak lemak pada WTH 4 dan 5 hari nilainya tidak berbeda jauh. Sehingga, bila ditinjau dari waktu pengolahan yang optimum maka kinerja optimal bioreaktor pada WTH 4 hari dengan efisiensi penyisihan minyak lemak sebesar 96,05%. Waktu pengolahan yang cukup singkat menunjukkan bahwa sistem bioreaktor hibrid

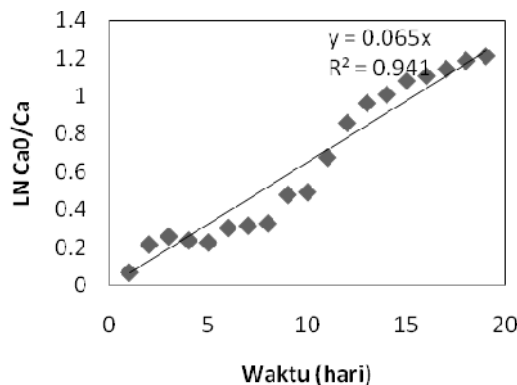
anaerob lebih baik karena ukuran bioreaktor yang relatif kecil dengan sendirinya kebutuhan lahan untuk membangun instalasinya relatif penghematan secara ekonomi.

Penentuan Laju Reaksi Hidrolisis Substrat Campuran Dan Substrat Tunggal

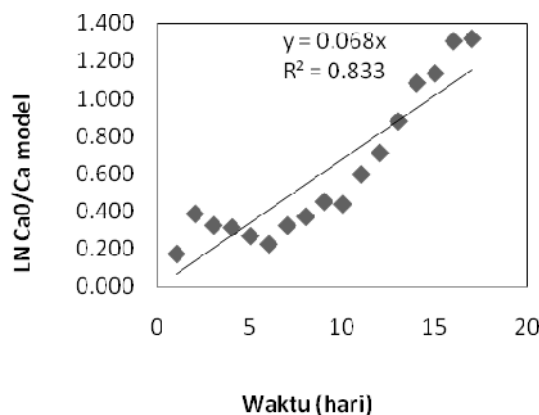
Grafik antara $\ln Ca_0/Ca$ terhadap t untuk hidrolisis minyak lemak pada masing-masing waktu tinggal hidrolis ditampilkan pada Gambar 5.



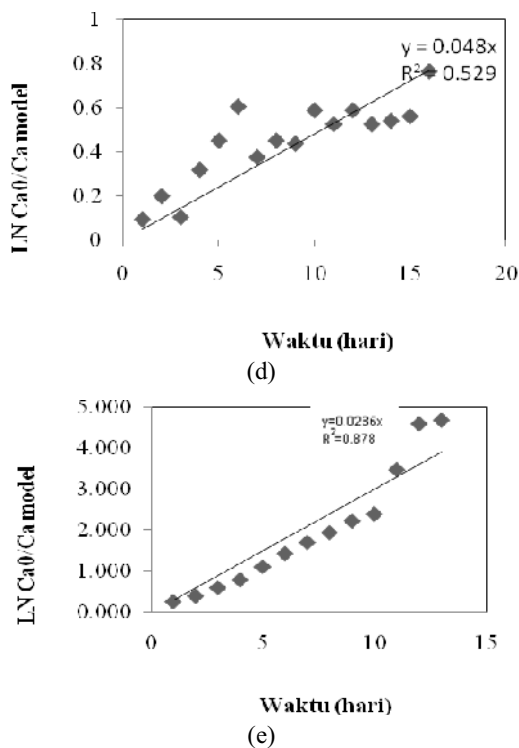
(a)



(b)



(c)



Gambar 5. (a-e) Pengujian Orde Reaksi Hidrolisis Minyak Lemak pada Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit : (a) WTH 1 hari; (b) WTH 2 hari; (c) WTH 3 hari; (d) WTH 4 hari; (e) WTH 5 hari

Gambar 5 (a sampai e) menunjukkan bahwa penguraian substrat minyak lemak pada bioreaktor hibrid anaerob memenuhi asumsi bahwa orde reaksi adalah orde satu. Hal ini dapat dipahami karena reaksi penguraian substrat tersebut menunjukkan hubungan yang linier terhadap substrat yang terhidrolisis. Menurut San Pedro dkk (1994) bahwa laju hidrolisis tidak dipengaruhi oleh konsentrasi biomassa, namun mempunyai hubungan orde satu dengan konsentrasi substrat.

Konstanta laju hidrolisis yang diperoleh secara eksperimental ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Konstanta Laju Hidrolisis Substrat campuran dan Substrat Tunggal.

WTH	$k_h(\text{hari}^{-1})$	RE (%)
1	0,039	6,64
2	0,059	3,31
3	0,062	3,06
4	0,048	4,15
5	0,236	3,29

Keterangan: RE = relative error

Pada WTH 1 hari menunjukkan bahwa konstanta laju hidrolisis minyak lemak sebesar $0,039 \text{ hari}^{-1}$, pada WTH 2 hari menunjukkan bahwa konstanta laju hidrolisis minyak lemak sebesar $0,059 \text{ hari}^{-1}$, pada WTH 3 hari menunjukkan bahwa konstanta laju hidrolisis minyak lemak sebesar $0,062 \text{ hari}^{-1}$. Sementara itu, pada WTH 4 hari menunjukkan bahwa konstanta laju hidrolisis minyak lemak sebesar $0,048 \text{ hari}^{-1}$ dan pada WTH 5 hari menunjukkan bahwa konstanta laju hidrolisis minyak lemak sebesar $0,236 \text{ hari}^{-1}$.

Tabel 1. menunjukkan kecocokan model kinetika reaksi hidrolisis orde satu yang digunakan pada berbagai waktu tinggal hidrolis untuk senyawa karbohidrat pada bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit. Kecocokan model ini diperlihatkan oleh nilai kesalahan relatif antara data percobaan dengan data perhitungan model yang lebih rendah dari 10 %. Pada WTH 1 hari terlihat bahwa besarnya kesalahan relatif antara data hasil percobaan dengan hasil perhitungan model diperoleh relatif kecil yaitu 6,64%, pada WTH 2 hari menunjukkan bahwa kesalahan relatif minyak lemak sebesar 3,31%, pada WTH 3 hari menunjukkan bahwa kesalahan relatif minyak lemak sebesar 3,06%. Sementara itu, pada WTH 4 hari menunjukkan bahwa kesalahan relatif minyak lemak sebesar 4,15% dan pada WTH 5 hari menunjukkan bahwa kesalahan relatif minyak lemak sebesar 3,29%.

Studi Komperatif Kinerja Bioreaktor Hybrid Anaerob Dua Fasa

Studi banding kinerja bioreaktor ditinjau dengan membandingkan kinerja bioreaktor hybrid anaerob dua fasa dengan berbagai kinerja bioreaktor anaerob lainnya dalam mengkonversi limbah cair industri. Perbandingan kinerja bioreaktor ini dengan bioreaktor lainnya ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Kinerja Bioreaktor Hybrid Anaerob Dengan Bioreaktor Lain

Jenis Bioreaktor	Limbah	WTH (hari)	Efisiensi Penyisihan organik (%)	k_h (hari^{-1})	Pustaka
Pencerna Anaerob	Minyak dan Lemak	4 hari	88	0.2476	Ahmad dkk (2000)
Pencerna Anaerob	Sintetik	6 hari	86	0.0091	Ahmad dkk (2001)
Bioreaktor Hibrid Anaerob	Minyak Sawit	4 hari	96,05	0.048	Penelitian ini

Dari Tabel 2 terlihat bahwa kinerja bioreaktor hibrid anaerob memiliki kemampuan yang lebih tinggi dibandingkan bioreaktor lainnya. Ahmad dkk (2001) telah melakukan penelitian dalam pengolahan

limbah cair industri minyak sawit dengan menggunakan pencerna anaerob (*anaerobic digester*) dan sistem ini mampu menyisihkan karbohidrat hingga 86% dengan waktu hidrolik selama 6 hari dan k_h sebesar 0.0091 hari^{-1} . Pada penelitian ini bioreaktor hibrid anaerob mampu menyisihkan minyak lemak hingga 96,05 % dan k_h sebesar 0.048 hari^{-1} dengan waktu tinggal hidrolik 4 hari dalam mengolah limbah cair industri minyak sawit.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit dalam mengolah limbah cair relatif lebih baik dalam penyisihan minyak lemak dibandingkan dengan sistem bioreaktor yang ada di literatur karena mampu mencegah kehilangan biomassa dan penyisihan minyak lemak yang cukup tinggi.

Kesimpulan

1. Selama proses *start-up* konsentrasi minyak lemak cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena senyawa-senyawa yang berasal dari limbah cair telah didegradasi oleh bakteri anaerob membentuk biogas, sehingga konsentrasi minyak lemak yang keluar dari effluen bioreaktor menjadi rendah. Proses ini berlangsung selama 42 hari dan didapatkan konsentrasi minyak lemak sebesar 1350 mg/L pada kondisi tunak.
2. Kinerja optimal bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit didapat pada WTH 4 hari karena hasilnya tidak berbeda jauh dengan WTH 5 hari sehingga dipilih WTH 4 hari sebagai hasil yang terbaik pada waktu yang optimum dengan efisiensi penyisihan minyak lemak sebesar 96,05 %.
3. Validasi model kinetika reaksi hidrolisis orde satu cukup baik karena kesalahan relatif antara data percobaan dengan data perhitungan model lebih kecil dari 10 %. Dengan demikian, model kinetika reaksi hidrolisis orde satu mampu menggambarkan fenomena reaksi hidrolisis senyawa kompleks organik dalam proses biodegradasi secara anaerob.

Daftar Notasi

C= konsentrasi substrat kompleks organik, mg/L
 t = waktu, jam;
 k = konstanta laju hidrolisis, hari^{-1} ;
 n = orde reaksi
 RE = kesalahan relatif
 $R_{S,T}$ = nilai hasil percobaan
 $R_{SM,T}$ = nilai hasil perhitungan model
 N = jumlah data.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pemerintah Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui program Penelitian Unggulan Strategis Nasional Batch I

Tahun 2010 dengan surat perjanjian Pelaksanaan Penelitian NO 163/SP2H/PP/DP2M/III/2010, Tanggal 1 Maret 2010.

Daftar Pustaka

- Ahmad, A. 1992. *Kinerja Bioreaktor Unggun Fluidisasi Anaerobik dua tahap dalam mengolah limbah cair industri minyak kelapa sawit*. Pusat antar universitas-bioteknologi.ITB. Bandung
- Ahmad, A dan T. Setiadi. (1993), Pemakaian bioreaktor unggun fluidisasi anaerob dua tahap dalam mengolah limbah cair pabrik minyak sawit, *Seminar Nasional Bioteknologi Industri*, PAU-Bioteknologi ITB, Bandung, 27-29 Januari
- Ahmad, A., T. Setiadi, M. Syafila dan O.B. Liang, 2000, *Bioreaktor Berpenyekat Anaerob untuk Pengolahan Limbah Industri yang Mengandung Minyak dan Lemak: Kajian Dinamik Bioreaktor dengan Pembebanan Organik Rendah*, Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, FT-Universitas Diponegoro, Semarang, 26-27 Juli.
- Ahmad, A., T. Setiadi, M. Syafila dan O.B. Liang, 2000, *Kinetika Reaksi Hidrolisis Senyawa Organik Kompleks pada Sistem Anaerob*, Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo 2000, TK-ITB, Bandung, 3-4 November.
- Ahmad, A., 2001, *Biodegradasi Limbah Cair Industri Minyak Sawit Dalam Sistem Bioreaktor Anaerob*, Disertasi-S3 ITB, Bandung.
- Ahmad, A., 2009, *Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Limbah Cair*, UNRI Press, Pekanbaru
- APHA, AWWA & WCF, 1992, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Washington DC: American Public Health Association.
- Anonim. (2008), *Produksi Berdasarkan Jenis Tanaman 1995-2007 (ton)*, Badan Pusat Statistik, <http://www.bps.go.id> (30 November 2009).
- Breure, A. M dan J. G Van Andel, 1989, *Microbiology of Anaerobic Digestion, International Course on Anaerobic Wastewater Treatment*, dalam Ahmad, A., Tjandra S., Mindriany S., dan Oei B.L., 2001, *Studi Kinetika Reaksi Hidrolisis senyawa Kompleks organik Dalam Proses Biodegradasi Anaerob*, Jurnal Biosains. Vol. 6 (1): 1-10.
- Ditjen PPHP, 2006, *Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit*, Subdit Pengelolaan Lingkungan Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian, Departemen Pertanian.
- Nugrahini, P., T.M.Rizki Habibi dan Anita D.S., 2008, *Penentuan Parameter Kinetika Proses Anaerobik Campuran Limbah Cair Industri Menggunakan Reaktor Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)*, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008 Universitas Lampung, 17-18 November 2008, ISBN : 978-979-1165-74-7: II 521 -532

San Pedro, D.C., T. Mino dan T. Matsuo, 1994,
*Evaluation of the Rate of Hydrolysis of Slowly
Biodegradable COD (SBCOD) Using Starch As
Substrate Under Anaerobic, Anoxic and Aerobic
Conditions*, Wat. Sci. Tech., 30(11), 191-199